

**LIGAÇÕES ESTRUTURAIS DE MADEIRA LAMINADA COLADA CRUZADA (CLT)
UTILIZANDO PARAFUSOS AUTOPERFURANTES****STRUCTURAL JOINTS OF CROSS LAMINATED TIMBER (CLT) WITH SELF-DRILLING
SCREWS**

João Cunha (1); Edgar V. M. Carrasco (A) (2); Jorge M. Branco (3); Paulo B. Lourenço (4)

(1) Eng. Civil, Mestrando, ISISE, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.

(2) D.Sc., Prof. Associado, Universidade Federal de Minas Gerais UFMG, Belo Horizonte, Brasil.

(3) D.Sc., Prof. Auxiliar, ISISE, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.

(4) D.Sc., Prof. Catedrático, ISISE, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.

Endereço para correspondência: mantilla@dees.ufmg.br; (A) apresentador

Resumo

A madeira laminada colada cruzada (CLT) é composta por laminas com espessura máxima de 20 mm, colados transversalmente com um adesivo estrutural. Como as laminas são coladas com as fibras intercaladas, as características mecânicas ficam homogeneizadas. Neste artigo foi avaliado o comportamento de ligações estruturais de elementos de CLT e MLC, utilizando várias tipologias de parafusos autoperfurantes. Foi ensaiado um total de 20 corpos-de-prova de ligações divididos em 4 grupos de acordo com o tipo de parafuso usado: HBS 8x140, VGZ 7x140, SFS 8.2x190 e VGZ 7x180. A campanha experimental, a determinação da força máxima e o módulo de deslizamento obedeceram aos requisitos da EN-26891:1991. Os resultados experimentais são discutidos e comparados com a metodologia de cálculo preconizada pelo Eurocódigo 5, em particular, no que refere-se à previsão da força máxima, modo de ruptura e módulo de deslizamento. Os resultados são ainda confrontados com as conclusões de trabalhos semelhantes. Conclui-se que os sistemas de ligações dispostos com uma inclinação de penetração de 45° apresentam valores de resistência ao corte superiores aos dos sistemas de ligações com inclinação de penetração de 90°. Os deslocamentos relativos também são menores. Os módulos de deslizamentos calculados revelam-se conservadores quando comparados com os resultados experimentais, apresentado uma diferença de 22% a 30%. Quando comparamos os tipos de parafusos, constatou-se que é mais vantajoso utilizar parafusos VGZ a 45° do que SFS, pois, além de apresentarem uma relação muito próxima em termos de força máxima e deslocamento, os parafusos VGZ 7x180 são uma solução economicamente favorável.

Palavras-chave: parafusos autoperfurantes, madeira laminada colada, ligações estruturais, CLT.

Abstract

The Cross Laminated Timber (CLT) is composed of lamina with a 20 mm maximum thickness transversally glued with a structural adhesive. Because these laminas are bonded with the fibers interspersed, the mechanical characteristics are homogenized. The aim of this paper was to evaluate the behavior CLT and GLULAM structural connections, using many types of self-drillings screws. It was tested a total of 20 test pieces divided into 4 groups according to the used screw: HBS 8x140, VGZ 7x140, SFS 8.2x190 and VGZ 7x180. The experimental program, the maximum strength calculations and slip modulus met the European Standard requirements EN 26891:1991. Experimental results are discussed and compared with the calculation methodology indicated by the Eurocode 5, in particular for the estimation of maximum strength, failure modes and slip modulus. The results are also confronted with findings of similar studies. We conclude that the connections system arranged at 45° inclination have shear values higher than those with connections system at 90° inclination. The relative displacements are also smaller. The slips modulus calculated revealed to be conservative when compared with experimental results, presenting 22% to 30% difference. When comparing the screw types, it was noted that it is more advantageous to use screws VGZ at 45° than screws SFS because they have a close relation in terms of maximum force and displacement. In addition, the screws VGZ 7x180 are an economically favorable solution.

Keywords: Self-drilling screws, glulam, structural joints, cross laminated timber (CLT).

1. INTRODUÇÃO

A madeira laminada colada cruzada ou Cross-Laminated-Timber (CLT) segundo Vessby *et al.* (2009) o seu uso esta sendo popularizado na Europa. As madeira resinosas (Espruce, Abeto e Pinhos) são as mais usadas, contudo também é possível usar folhosas ou derivados como o LVL. A madeira é seca em estufa até um teor de umidade em torno de 12%. As camadas de madeira são coladas ortogonalmente com adesivos (o adesivo depende da fábrica, mas normalmente usam poliuretano, PUR). Como as laminas são coladas com as fibras intercaladas, as características mecânicas deste material ficam homogeneizadas. O painel tem normalmente 3 a 7 camadas (ou mais – espessura máxima de 350 a 400 mm) tendo como regra que as camadas devem ser em número ímpar e devem ser simétricos em torno da camada média. No entanto, as dimensões dos painéis podem variar consoante o fabricante, mas, tipicamente têm larguras de 600, 1200 e 3000 mm enquanto os comprimentos podem chegar a 18000 mm.

Este material esta sendo amplamente utilizado em paredes estruturais e em placas para confecção de lajes de pisos apoiados em vigas de madeira laminada colada (MLC), (Blass and Fellmoser 2004), (Dujic *et al.* 2004) e (Ellis and Bougard 2001).

Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento das ligações de CLT e MLC utilizando parafusos autoperfurantes.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A especificação da classe de resistência e a determinação dos valores característicos da madeira, CLT e MLC, seguem as recomendações da Norma Portuguesa EN 1194:1999, Tabela 1. As dimensões dos corpos de prova (CPs) com MLC e CLT estão especificadas na Figura 1.

Tabela 1. Valores característicos da resistência, elasticidade e densidade aparente¹.

Característica mecânica	Símbolo	GL 24h	CLT1
Resistência à flexão (N/mm ²)	$f_{m,g,k}$	24	18
Resistência à tração (N/mm ²)	$f_{t,0,g,k}$	16.5	-
	$f_{t,90,g,k}$	0.4	9.8
Resistência à compressão (N/mm ²)	$f_{c,0,g,k}$	24	21
	$f_{c,90,g,k}$	2.7	2.5
Resistência ao cisalhamento (N/mm ²)	$f_{v,g,k}$	2.7	2.5
Módulo de elasticidade (N/mm ²)	$E_{0,g,mean}$	11600	11000
	$E_{0,05,g}$	9400	-
	$E_{90,g,mean}$	390	-
Módulo de deformação (N/mm ²)	$G_{g,mean}$	720	690
Densidade aparente (kg/m ³)	$\rho_{g,k}$	380	470

¹ Valores fornecidos pela Empresa Binderholz

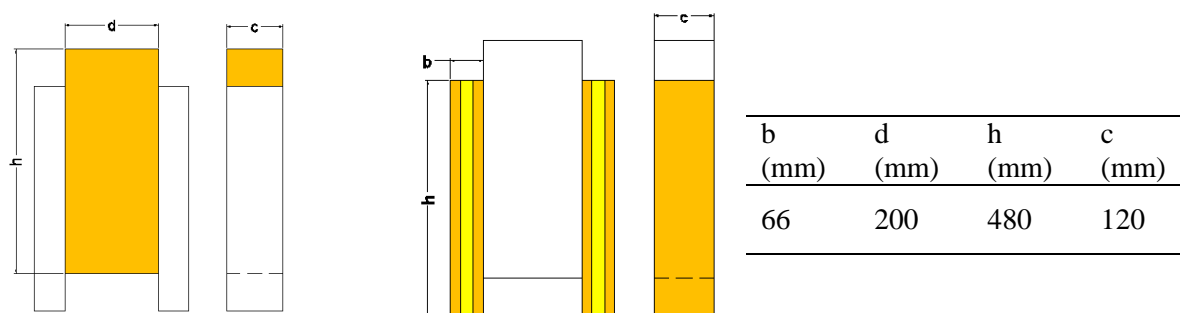


Figura 1. Dimensões da madeira laminada – cruzada (CLT) e colada (MLC).

Para confecção dos CPs foram usados quatro tipo de parafusos. A Figura 2 apresenta as características dos diferentes parafusos.

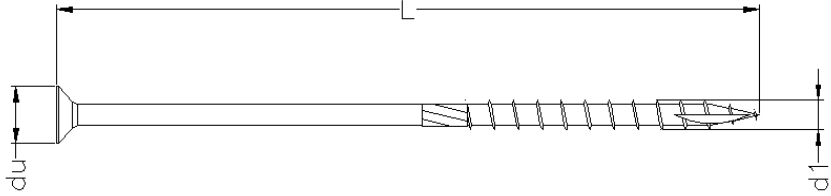
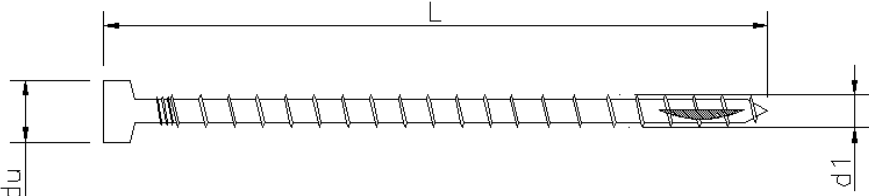
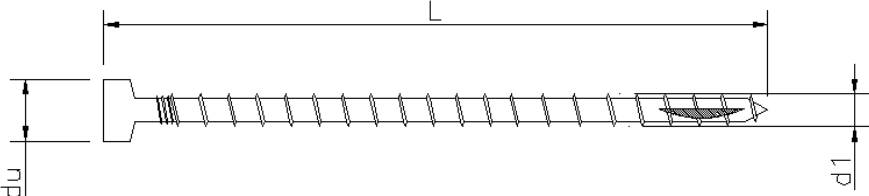
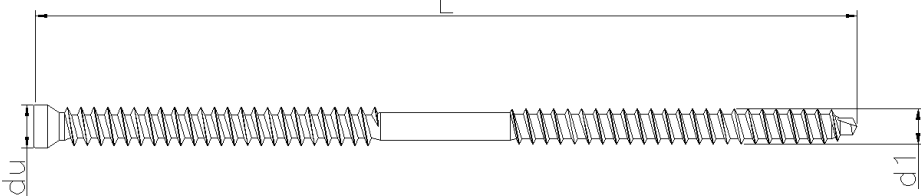
HBS			
			
du	L	d1	Preço /unidade
25 mm	140.0 mm	8.0 mm	€ 0.402
VGZ			
			
du	L	d1	Preço /unidade
9.5 mm	140.0 mm	7.0 mm	€ 0.648
VGZ			
			
du	L	d1	Preço /unidade
9.5 mm	180.0 mm	7.0 mm	€ 0.969
SFS			
			
du	L	d1	Preço /unidade
10 mm	190.0 mm	8.2 mm	€ 2.76

Figura 2. Características geométricas dos conectores comercializados pela Rothoblass.

Os CPs cujos conectores foram aparafusados com uma inclinação de 45°, conseguiram ser preparados usando uma cunha de madeira com inclinação de 45° para garantir o máximo de precisão. Na preparação dos restantes CPs não foram utilizados nenhum elemento de apoio para introdução dos conectores, como mostrado na Figura 3. No total foram confeccionados 20 CPs.

Para combater os momentos fletores que poderiam surgir, durante o ensaio, provocando abertura entre os blocos de madeira, foram colocados travamentos laterais. Assim os conectores ficariam só submetidos ao esforço de corte.



Figura 3. Preparação dos Corpos de Prova (CPs)

O procedimento de ensaio foi preparado com base na Norma Europeia EN 26891:1991, que consiste em seguir um programa de carga definido pela norma, obtendo uma curva carga - deslocamento o mais próxima possível da que está apresentada na Figura 4-b.

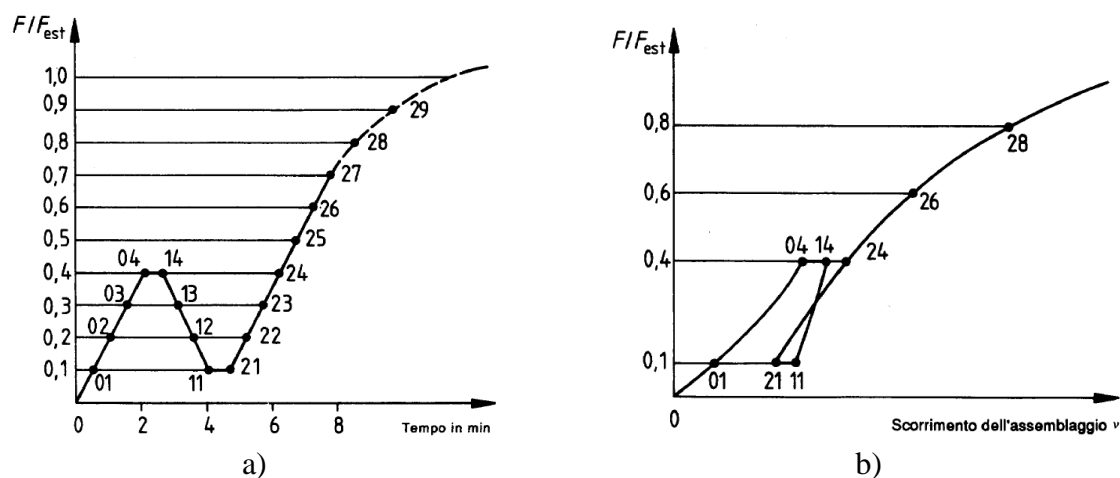


Figura 4. a) Programa de carga b) e curva carga – deslocamento esperada

Para a obtenção destes gráficos, a determinação da força estimada, F_{est} , foi feita através do Eurocódigo 5, item 8.2.2, utilizando a Equação (1). Nesta equação cada expressão representa um modo de ruptura.

Na Figura 55-a é apresentado o esquema de ensaio. Para a leitura da força aplicada foi usado uma célula de carga de 50 kN e para a medida do deslocamento relativo entre as peças de madeira foi utilizado LVDTs com sensibilidade de 0,01 mm, precisão na leitura de dados de $\pm 0.1\%$ e um fundo de escala de 40 mm. Para a colocação dos LVDTs, optou-se pela fixação de 2 cantoneiras no ponto onde os parafusos se cruzam, ou seja, a meio do CP, **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** 5-b. A metodologia utilizada para a realização dos ensaios foi a prescrita pela Norma Europeia EN 26891.

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{ll} f_{k,1,k} t_1 d & \text{a)} \\ f_{k,2,k} t_2 d & \text{b)} \\ \frac{f_{k,1,k} t_1 d}{(1 + \beta)} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_1}{t_2} + \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^2 \right] + \beta^2 \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_1}{t_2} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{c)} \\ 1,05 \frac{f_{k,1,k} t_1 d}{(2 + \beta)} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{k,1,k} t_1^2 d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{d)} \\ 1,05 \frac{f_{k,1,k} t_2 d}{(1 + 2\beta)} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{k,1,k} t_2^2 d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{e)} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{k,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{f)} \end{array} \right. \quad (1)$$

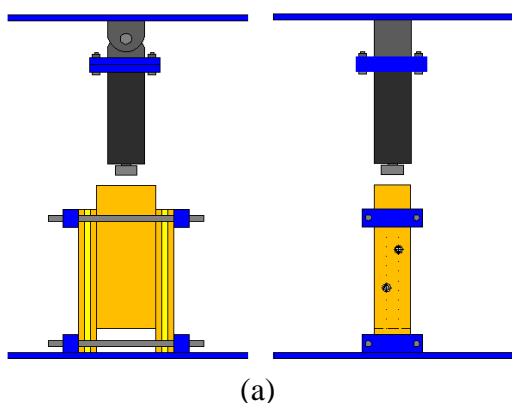


Figura 5. (a) Esquema de ensaio (b) CP antes do ensaio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas figuras e tabelas seguintes, apresentam-se os resultados dos ensaios experimentais executados e os parâmetros obtidos a partir deles.

Na Figura 6 estão ilustradas as curvas Força – deslocamento obtidas nos ensaios de corte.

De acordo com a EN 26891, o valor do módulo de deslizamento, K_{ser} , é determinado a partir dos valores da força e deslocamento nos pontos $0.1F_{est}$ e $0.4F_{est}$, utilizando a Equação (2).

$$K_{ser} = 0,4 \cdot F_{est} / v_{i,mod} \quad (1)$$

Sendo F_{est} a força estimada e $v_{i,mod}$ obtido através da equação (3).

$$v_{i,mod} = \frac{4}{3} (v_{0.4} - v_{0.1}) \quad (3)$$

Onde $v_{0.4}$ e $v_{0.1}$ representam o valor dos deslocamentos obtidos para $0.4F_{est}$ e $0.1F_{est}$, respectivamente.

Os resultados obtidos nos ensaios e os calculados estão apresentados na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**

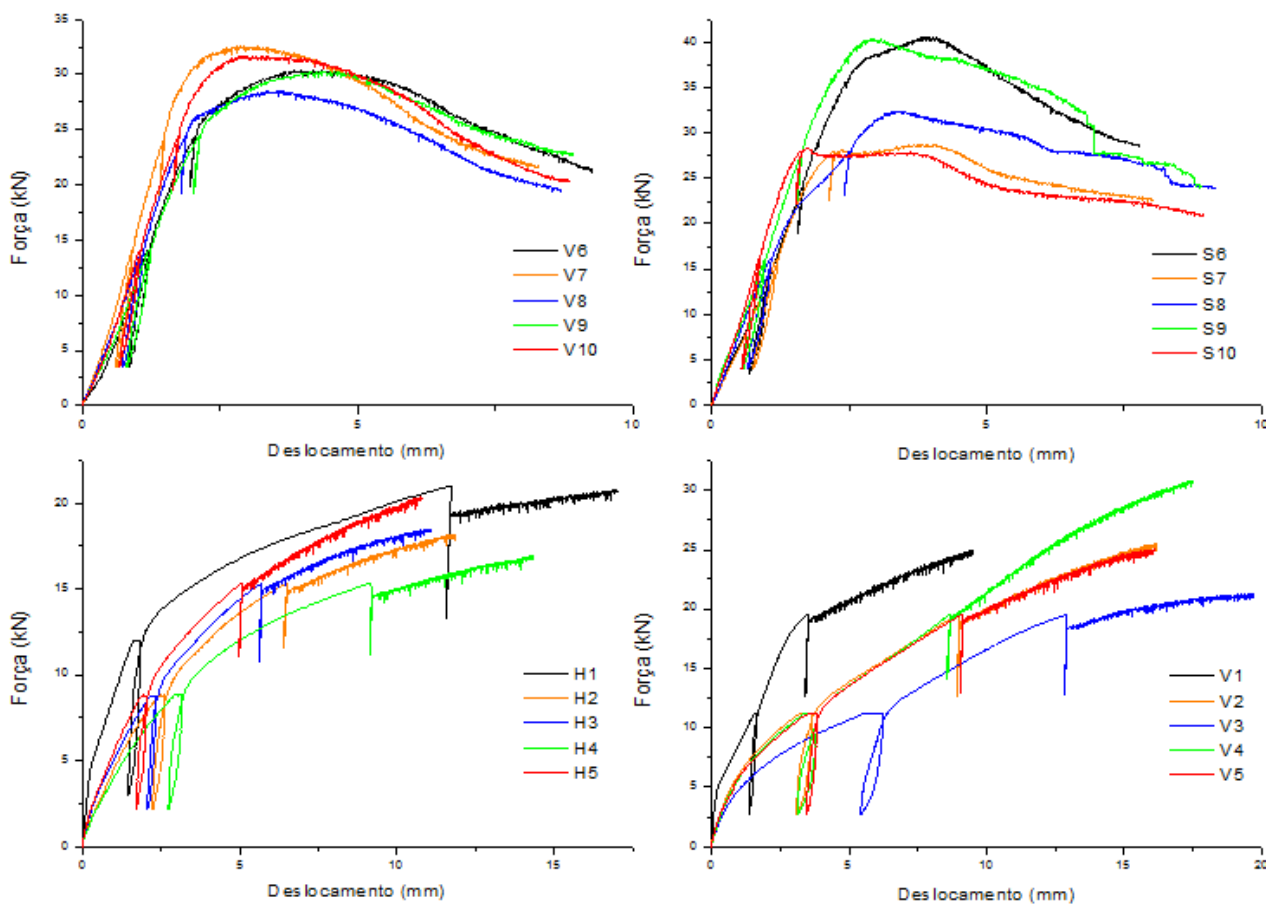


Figura 6. Curvas de resultados Força – Deslocamento

Na figura 7 são apresentados os tipos de modos de ruptura descritos pela Eurocódigo 5.

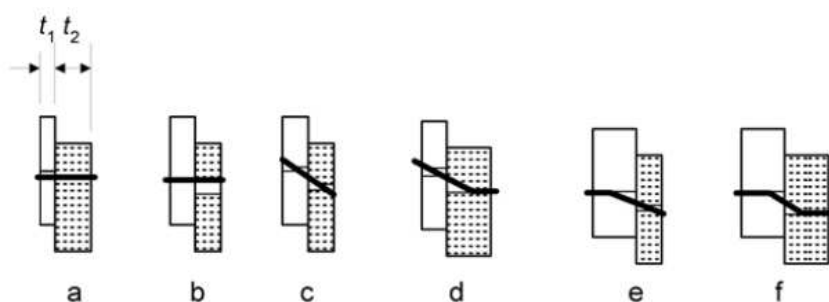


Figura 7. Tipos de modos de ruptura descritos pela Eurocódigo 5.

Na Figura 8 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** são apresentados e identificados os modos de ruptura obtidos nos ensaios experimentais.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de corte.

CP	F_{est} kN	F_{max} kN	d_{max} mm	$K_{serv(exp.)}$ N/mm	$k_{ser(EC5)}$ N/mm
H1	30,00	20,98	11,01	6,52	2,42
H2		18,19	11,23	3,01	
H3		18,53	10,33	3,31	
H4		16,93	13,88	2,41	
H5		20,43	9,69	3,83	
Média	-	18,53	11,22	3,31	-
V1	30,00	24,96	9,11	6,67	2,12
V2		25,53	15,87	3,01	
V3		21,36	19,47	1,79	
V4		30,84	16,67	2,86	
V5		25,06	15,90	2,88	
Média	-	25,06	15,40	2,88	-
V6	35,00	30,40	3,46	11,57	2,12
V7		32,67	2,82	15,38	
V8		28,57	3,21	12,73	
V9		30,28	3,87	11,38	
V10		31,74	2,32	13,33	
Média	-	30,40	3,14	12,73	-
S7	40,00	28,75	3,61	13,22	2,48
S8		32,48	2,55	14,55	
S9		40,31	2,04	16,16	
S10		28,33	1,35	18,18	
Média	-	30,62	2,84	15,35	-



f



b e f

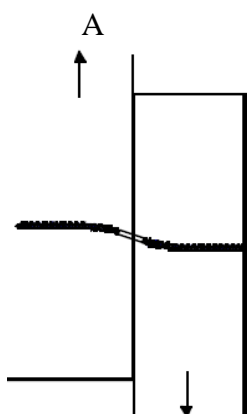


b e f



b e f

Figura 8. Modos de ruptura identificados nos ensaios



(a)

(b)

Figura 9 representa esquematicamente o mecanismo que desenvolveu à identificação do modo de ruptura “f” dos conectores. Quanto ao modo de ruptura “b”, está relacionado com a deformação da MLC.



Figura 9. (a) Mecanismo de rotura, (b) Modo de rotura dos provetes V1 e H1.

Em relação aos valores das forças máximas obtidas, elas não atingiram os valores das forças estimadas. Isto se deve provavelmente à deformação excessiva dos blocos de CLT. Em alguns casos levou o CLT à abertura de fendas. A Figura 10 ilustra os casos mais relevantes em que este fenómeno ocorreu.

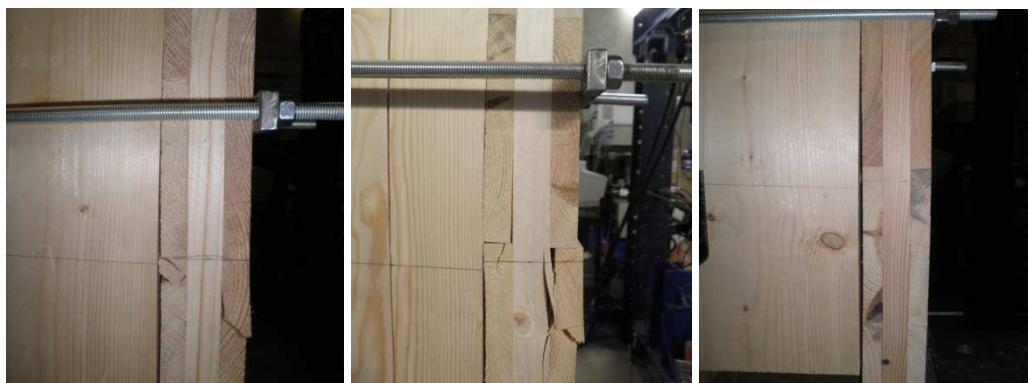


Figura 10. Deformação excessiva dos blocos de CLT.

Na tabela 3 estão apresentadas as relações entre os conectores para a capacidade de carga, deslocamento máximo e deslocamento último. Observa-se nesta tabela que o conector colocado a 45° de inclinação (VGZ^{45°}) tem maior capacidade de carga do que quando colocado a 90° (VGZ^{90°}) e muito próximo do tipo SFS.

Tabela 3. Relação entre ligadores.

Tipo	F _{máx}	d _{f máx}	d _{ult}
HBS / SFS	55,75 %	46,09%	78,75 %
VGZ ^{90°} / VGZ ^{45°}	83,14 %	18,54%	79,65 %
VGZ ^{90°} / SFS	74,94 %	10,70%	84,51 %
HBS / VGZ ^{45°}	61,84 %	52,46%	72,08 %
HBS / VGZ ^{90°}	74,39 %	81,30%	72,90 %

VGZ ^{45°} / SFS	90,14 %	95,68%	68,61 %
--------------------------	---------	--------	---------

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultado obtidos nos ensaios experimentais conclui-se que os sistemas de ligações dispostos com uma inclinação de penetração de 45° apresentam valores de resistência ao corte superiores que os sistemas de ligações com inclinação de penetração de 90°. Os deslocamentos relativos também são menores.

Os módulos de deslizamentos calculados pela metodologia preconizada pelo EC5, revelam-se conservadores quando comparados com os resultados experimentais, apresentado uma diferença de 22% a 30%.

Quando comparado os tipos de parafusos, constata-se que é mais vantajoso a utilização dos parafusos VGZ a 45°, do que os SFS, pois para além de apresentarem uma relação muito próxima em termos de força máxima e deslocamento, os parafusos VGZ 7x180, são uma solução economicamente favorável.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela ajuda financeira para a realização do Estágio Sênior, à Fapemig pela ajuda financeira e às Empresas BinderHolz e Rothoblaas pelo fornecimento dos materiais.

7. REFERÊNCIAS

- Angeli, A., Tomasi, R., Piazza, M., Riggio, M. (2010). Refurbishment of traditional Timber Floor by means of wood - wood composite structures assembled with inclined screw connectors. *Proceeding of World Conference Timber engineering*, Trentino, Italy, jun.
- Blass HJ, Fellmoser P. (2004) Design of SolidWood Panels with Cross Layers, *Proceedings of the WCTE*, Lahti, Finland.
- Dujic B, Pucelj J, Zarnic R (2004) Study of Innovative Wooden House Based on Racking Test of Solid Wall Panels. *Proceedings of the COST-E29*, Florence, Italy.
- Ellis BR, Bougard AJ (2001) Dynamic testing and stiffness evaluation of a six-storey timber framed building during construction. *Eng Struct* 23(10): p.1232–1242.
- European Committee for Standardization, EN 1995-1-1 (2004). Eurocode 5: *Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings*, Brussels, 2004.
- European Committee for Standardization, EN 408 (2003). Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties, Brussels.
- Piazza, M., Riggio, M., Tomasi, R., Giongo, I. (2010). Comparison of In Situ and Laboratory Testing for Characterization of Old Timber Beams Before and After Intervention. *Advanced Materials Research*, v. (133 - 134), p. 1101-1106.
- Tomasi, R., Crosatti, A., Piazza, M. (2010). Theoretical and experimental analysis of timber-to-timber joints connected with inclined screws. *Construction and Building Materials*, v. 24, p.1560-1571.
- UNI EN 26891 (1991). *Strutture di legno. Assemblaggi realizzati tramite elementi meccanici di collegamento. Principi generali per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e Deformabilità*. Italia.
- Vessby, J., Enquist, B., Petersson, H., Alsmarker, T. (2009). Experimental study of cross-laminated timber wall panels. *Eur. J. Wood Prod.* 67: p. 211–218.